

# 温暖地における基礎断熱住宅の床下空間の形態と利用法が 温熱環境に与える影響

## INFLUENCE OF CRAWLSPACE DESIGN AND UTILIZATION ON THERMAL ENVIRONMENT IN DETACHED HOUSE WITH INSULATED FOUNDATION FOR MODERATE AND HUMID CLIMATE REGION

劉 青 栄\*, 龍 有二\*\*, 香川治美\*\*\*, 児島孝徳\*\*\*\*

*Qingrong LIU, Yuji RYU, Harumi KAGAWA*

*and Takanori KOJIMA*

The foundation insulation has been adopted in the moderate and humid climate region as in cold region. However, very little research is spent on the design policy and the use methods of the crawlspace in this climate condition. In this paper, five detached houses with the insulated foundation located in northern Kyushu, Japan, have been chosen as various cases for research. The heating system, details of thermal insulation and air-tightness in these five houses have been described. The influence of crawlspace design and utilization on thermal environment has been analyzed by using the measured data. According to the analyzing result, the foundation insulation detached house is well applicable in moderate and humid climate region. Furthermore, by the analysis on the thermal environment in winter, it is can be concluded that the utilization of the insulated crawlspace as an element of heating system is effective for this climate condition.

**Keywords:** detached house, foundation insulation, thermal environment, crawlspace heating system

戸建住宅、基礎断熱、温熱環境、床下暖房

### 1. はじめに

北海道や東北などの寒地で普及してきた高断熱・高気密住宅は、九州地方においても、暖冷房エネルギーの削減と室内温熱環境の向上を目的として普及しつつある。また、都市化や防犯等の理由で、開放的な住まい方から閉鎖的な住まい方への移行も顕著になっている。床下空間の形態も、床下換気口をもつ開放的なものから基礎断熱とした密閉型空間へ移行する傾向が見られる。基礎断熱工法は基礎部分で断熱施工を行い、居室と床下空間を熱的に一体化する工法である。従来の床断熱工法と比較して、経済性、設備配管も含めた施工性、床組木材の耐久性、気密性などの利点が挙げられる。また、断熱した床下空間を暖房システムの熱搬送経路や蓄熱部として活用する手法も試みられている。

温暖地における基礎断熱住宅の床下空間の温湿度特性に関しては、本間・鈴木ら<sup>1) 2)</sup>により研究が行われてきた。ただし、夏季蒸暑気候である九州地方への基礎断熱住宅の適応性や、断熱された床下空間の暖房に対する有効性、床下空間の設計指針、熱搬送経路と蓄熱部としての活用手法などに関する課題が残っている。

本研究では、九州北部における5軒の実居住基礎断熱住宅を選択して、それらの住宅の床下仕様や居室との連続性および暖房システムなどの床下空間の異なる利用法に着目し、室内と床下温熱環境について実測調査を行った。本論文では、実測対象住宅の断熱仕様及び断熱された床下空間を利用した暖房システムを紹介するとともに、まず、暖房システムに注目し、室内と床下空間の温熱環境あるいは暖房効果、床下空間と室内・外気との相関について解析する。次に、基礎断熱住宅の床下における

梅雨季の温熱環境及び建材による初期発温の経年変動について検討する。また、床下換気口の有無に着目し、夏季蒸暑時の床下の温湿度状についても調査した。さらに、特徴がある2軒の住宅を選択し、長期実測結果に基づいて、床下暖房方式の違いによる冬季の暖房効果あるいは室内温熱環境の均一性などを比較評価する。なお、本論文では床下空間の形態は床下換気口の有無や断熱工法の違い、床吹出し口の有無などのことと定義し、利用法は床下暖房への利用、蓄熱部位としての利用などのことと定義する。

### 2. 実測住宅と測定方法

#### 2.1 実測住宅の断熱仕様と暖房方式

実測対象住宅の概要を表1に示す。床吹出し口の詳細を表2に、実測住宅の熱源機器及び運用状況を表3に示す。5軒の住宅は全て九州北部にあり、木造軸組2階建てである。外壁の断熱性能について、Y邸は5軒の中で最も優れており、住宅性能表示制度の断熱等級4の水準に相当する。H邸、T邸とK邸は等級3に、N邸は等級2に相当する。開口部の断熱性能についてはH邸、N邸、K邸とY邸は断熱等級4に相当し、T邸のみ断熱等級3に相当する。断熱仕様の詳細は後述する。また、H邸とY邸の気密性能は高く、相当隙間面積はそれぞれ $0.7\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、 $2.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ である。基礎断熱についてはY邸以外の4軒の住宅は基礎内断熱で、Y邸は基礎外断熱である。各住宅の特徴を以下に示す<sup>3), 4), 5)</sup>。

(1) H邸：外壁はフェノールフォーム30mmの外張り断熱工法、窓は複層ガラスで樹脂サッシを採用している。基礎は内断熱である。床下は閉

\* 北九州市立大学国際環境工学研究科 博士後期課程・工修

Ph.D. Candidates, Faculty of Environment Engineering, The University of Kitakyushu, M. Eng.

\*\* 北九州市立大学国際環境工学研究科 教授・工博

Prof., Faculty of Environment Engineering, The University of Kitakyushu, Dr. Eng.

\*\*\* 北九州市立大学国際環境工学研究科 研究員・工博

Researcher, Faculty of Environment Engineering, The University of Kitakyushu, Dr. Eng.

\*\*\*\* 北九州市立大学国際環境工学研究科 修士課程

Graduate, Faculty of Environment Engineering, The University of Kitakyushu

鎖空間となっており、居室、外界とも繋がっていない。

冷暖房についてはリビングに設置されたヒートポンプ式エアコンディショナー(以下エアコンと略称)を使用している。また、室内には冬季に加湿器も設置されている。図1にはH邸の床下詳細断面と基礎断熱の状況を示す。

(2) N邸:純和風住宅で外壁は真壁であり、フェノールフォーム25mmを柱間に充填している。基礎の断熱は内断熱仕様、窓は複層ガラスで断熱防露アルミサッシである。

暖房システムとしては、FF式のヒーターよりフレキシブルダクトを介して床下空間に温風(60°C~70°C)を吹き込む方式が採用され、24時間稼動している。温風は床下のみで循環しており、床下から室内への温風吹出しが設置されていない。また、補助暖房としてエアコンがリビングに設置されている。図2はN邸の床下断面詳細図と床下の温風ダクトの写真である。

(3) T邸:自然エネルギー利用住宅(太陽光発電、ダイレクトヒートゲインを採用)である。外壁および天井はグラスウール100mmにより断熱されている。基礎の部分で内断熱するだけではなく、ベースコンクリート上すべての部分に断熱材を敷き詰めている。

暖房に関しては、T邸はN邸と同様の床下温風暖房を採用しているが、T邸の一階床には床下からの温風吹出しがある(表2および図18参照)。暖房は24時間連続稼動を原則としている。なお、2004年に床下の暖房システムを従来の1系統から2系統に増設している。また、リビングでは補助暖房器具としてファンヒーターが使用されている。基礎壁には換気口が設置されているが、冬季には断熱材で閉鎖する。ただし、2003年以前の夏季にはその換気口を開放したのに対して、2004年は閉鎖した。図3はT邸の床下断面詳細図とリビングのベリメータ部における床吹出し口の写真である。

(4) K邸:窓は複層ガラスで断熱防露アルミサッシである。K邸は基礎内断熱である。また、防湿コンクリートの上部にポリスチレンフォーム50mmの断熱を施し、その上に100mmのコンクリートを打って、これを太陽熱利用空気循環式床暖房システムの蓄熱部位として活用している。即ち、軒先から取り入れた外気を屋根部の空気式集熱パネルで昇温させ、立下りダクトを経て床下空間のコンクリートに蓄熱する方式である。ベリメータ部には温風吹出しがあり、床下空間と居室はこの床吹出しが介して連続している。なお、本システムは補助熱源としてガス給湯暖房器よりハンドリングボックス内へ温水を送水する装置が組み込まれている。また、補助暖房としても、ファンヒーターを設置している。図4はK邸の床下断面詳細図と床下立下りダクトの写真である。

(5) Y邸:外壁は纖維系断熱材100mm、屋根は纖維系断熱材100mm+ポリスチレンフォーム50mmで断熱している。窓は複層ガラス・木製サッシである。基礎は外断熱であ

表1 実測住宅の概要

	H邸	N邸	T邸	K邸	Y邸
所在地	北九州市 若松区	福岡県 嘉穂郡碓井町	福岡市 西区拾六町	福岡県 筑紫野市	福岡県 大川市向島
竣工年月	2002年10月	2002年10月	1995年12月	2002年11月	2000年12月
外壁の断熱等級	等級3	等級2	等級3	等級3	等級4
床下形態	密閉	密閉	床吹き出し口で 室内と繋がる	床吹き出し口で 室内と繋がる	床吹き出し口で 室内と繋がる
暖房方式	エアコン	床下温風暖房	床下温風暖房	太陽熱利用空気 循環式床暖房	床下温水パイプ 暖房
基礎断熱形式	基礎内断熱	基礎内断熱	基礎内断熱	基礎内断熱	基礎外断熱
構造	木造軸組	木造軸組	木造軸組	木造軸組	木造軸組
家族構成	4人	5人	2人	2人	5人

表2 床吹出し口の詳細

住宅	材料	設置場所	寸法(mm x mm)	開口率(%)
T邸	アルミ	リビング窓近傍(2個)	1800 x 75	26
		階段下、トイレ、リビング入口、脱衣室、台所の出口	600 x 75	
K邸	アルミ	リビング窓近傍	1800 x 90	30
		台所の出口	900 x 90	
		トイレ、洗面所、脱衣室	600 x 90	
		茶の間窓近傍	2400 x 90	
Y邸	木製	リビング窓近傍(2個)	1610 x 160	44
		トイレ横壁、廊下横壁	395 x 130	

表3 実測住宅の熱源機器及び運用状況

住宅	熱源機種類	台数	暖房出力(kW)	効率(%)	運用状況
N邸	FF式暖房機	2	2.41	90%	24時間運転
T邸	FF式暖房機	2*1)	2.41	90%	24時間運転
K邸	補助熱源 (ガス給湯暖房器)	1	17.2	80%	暖房用補助熱源として は稼動していない
Y邸	灯油ボイラー (暖房用)	1	15.7	86%	朝と夕方に3時間ずつ 稼動する*2)

注: \*1) 竣工時には、暖房機一台。2004年に一台を増設し、温風ダクト系統も増設した。

\*2) 台所に設置された運転制御用温度センサーにより、室温が設定値を超えると、ボイラーは停止する。

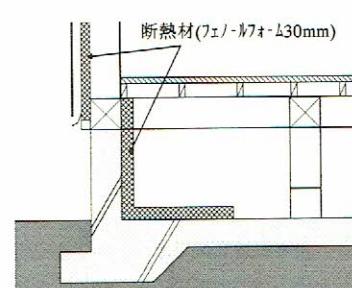


図1 H邸の床下断面詳細図と基礎断熱の状況

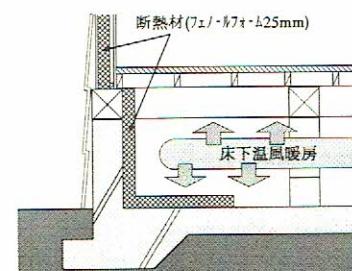


図2 N邸の床下断面詳細図と床下温風ダクト

る。

暖房方式として、温水循環パイプを床下の防湿コンクリート上部に適度な間隔で道わせている。床のペリメータ部には自然対流による床吹出し口を設けている。また、トイレおよび廊下の壁面下部にも吹出し口が設置されている。洗面脱衣室には温水パネルを設けている(表2および図19参照)。暖房用温水ボイラーは原則として朝と夜3時間ずつ稼動するが、台所に設置された運転制御用温度センサーにより、室温が設定値を超えると、ボイラーは停止する。図5はY邸の床下断面詳細図と温水パイプの写真である。

## 2.2 測定方法

温熱環境の実測は2002年の11月末から始めた。主な測定項目と測定機器を表4に示す。表に示すように、一階居室の温湿度、床下空気の温湿度ならびに床下コンクリートの表面温度を測定した。また、床下のコンクリートスラブ表面の熱流を小型熱流計により中央部と端部(南側外周部より1.2m)で測定した。洗面脱衣室の温湿度測定は2004年の2月からである。測定間隔については、2003年2月までは10分間隔で測定し、2003年2月以後は30分間隔で測定した。解析する際に、床下空気温度は中央床下空気温度、床下南側空気温度と床下北側空気温度の平均値を使用した。床下と室内の絶対湿度と露点温度は測定された温度及び相対湿度を用いてGoff-Gratch式により算出した。

## 3. 冬季における床下暖房効果

本節では2002年12月の実測データを中心に、冬の暖房期において室内と床下空間の温熱環境あるいは床下空間を利用した暖房システムの効果を確認し、床下空間と室内・外気との相関についても解析する。

### 3.1 床下温熱環境

5軒の住宅の床下空気温度の日変動(12月15日～17日)を図6に示す。床下温度変動は暖房方式と運転パターンによる影響を受けている。Y邸は朝および夜のボイラー稼動時に床下空気温度は28℃まで上昇する。また、ボイラーを稼動しない時間も22℃前後に保たれる。これはY邸の断熱・気密性能が高いこととコンクリートの蓄熱効果によるものと思われる。床下温暖房を24時間連続稼動しているN邸とT邸には、床下空気温度の日変動に顕著な差は見られないが、T邸のほうが1～2℃高く維持されている。K邸の床下空気温度は、日射量が大きい15日午後2時ごろに最高値26℃に達するが、夜間の床下空気温度は床下暖房を行っていないH邸よりも低い。H邸の床下空気温度は17.5℃前後で安定している。

表3には解析期間(2002年12月9日～2002年12月17日)の床下空気温度と相対湿度の最高・最低・平均値を示す。平均床下空気温度が最も高い住宅はY邸(24.2℃)であり、次に、T邸(22.2℃)、N邸(22.0℃)、H邸(17.8℃)、K邸(16.1℃)の順である。H邸は床下暖房システムを採用しておらず、床下空間を密閉しているため、5軒の住宅の中では、床下空気温度が $17.8 \pm 0.9$ ℃と最も安定している。N邸は床下温暖房システムを採用しており、24時間暖房しているため、床下空気温度も $22.0 \pm 1.4$ ℃で安定している。T邸の床下温度変動範囲がN邸より大きいのは、T邸の床下温度が床吹出し口を介した空気流動によって居室の温度

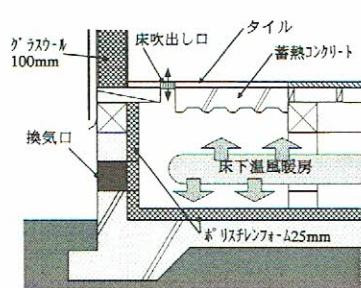


図3 T邸の床下断面詳細図と床吹出し口

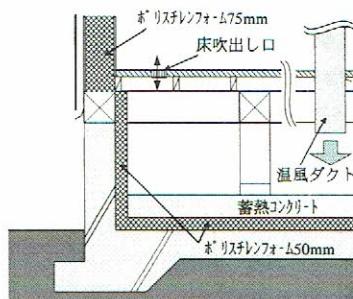


図4 K邸の床下断面詳細図と床下立下りダクト

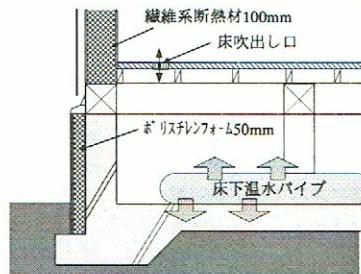


図5 Y邸の床下断面詳細図と温水パイプ

表4 温熱環境測定項目及び測定機器

測定項目	測定機器
1F居室空気温度・湿度	小型データロガーTR-72S
中央床下空気温度・湿度	小型データロガーTR-72S
床下南側コンクリート表面温度	小型データロガーTR-71S
床下南側空気温度	小型データロガーTR-71S
床下北側コンクリート温度	小型データロガーTR-71S
床下北側空気温度	小型データロガーTR-71S
熱流計による測定(中央、端部)	熱流計MF-140
外気温度・湿度	小型データロガーTR-72S
洗面脱衣室の温度・湿度	小型データロガーTR-72S

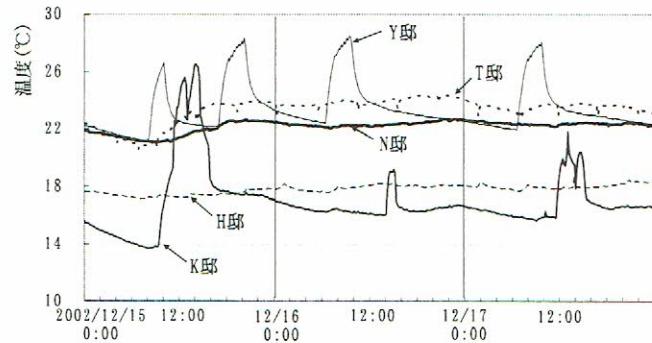


図6 床下温度変動  
変動の影響を受けているためである。特に、この解析期間では、T邸の

床下温風ダクトは南側の一系統のみだったため、北側の床吹出し口は空気循環のリターン口になった可能性もある。太陽熱利用空気循環式床暖房システムを採用したK邸は5軒の住宅の中で床下空気温度の変動が最も大きく、最高温度は34.2℃、最低温度は12.5℃である。これは立ち下がりダクトから床下へ供給される空気温度が日射量に依存していることと、居住者がシステムに組み込まれている補助熱源（灯油ボイラーよりハンドリングボックス内へ温水を送水）を利用していいことによる。N邸、K邸、Y邸の最も温度が高い部位は床下中央であるのに対して、T邸においては南側である。これはT邸の温風暖房のダクトが床下の南側に設置されているためである。

床下空気温度の累積曲線を図7に示す。床下空気温度が22℃を超える計測データの個数を住宅別に比較すると、Y邸が最大で1255（全データの96.8%）データ、以下N邸665データ（51.3%）、T邸613データ（47.3%）、K邸62データ（4.8%）である。なお、H邸の床下空気温度は全て19℃以下となる。

相対湿度については、冬季にもかかわらず、H邸において平均値が71%と高い値を示したが、この理由としては、竣工から日が浅く基礎部分のコンクリートがまだ完全に乾燥していないため、その影響が出ていていると思われる。しかし、同じ時期に竣工したN邸はさほど高い相対湿度は計測されなかった。これは床下温風暖房によって床下温度が高くなつたことや、基礎部分のコンクリートの乾燥が促されたためと思われる。K邸は床下空気温度が低いため、床下相対湿度は他の3軒の住宅より高い。T邸は竣工後8年経っていることや床下温風暖房を行っているため、相対湿度は低くなっている。床下の湿気の状況を明らかにするために、絶対湿度の累積曲線を作成して、図8に示す。H邸において床下絶対湿度は最も高く、平均値は9.03 g/Kg D.A.である。図7より、絶対湿度が8 g/Kg D.A.を超える計測データの個数を住宅別に比較すると、H邸が最大で1296データ（100%）、以下N邸665データ（93.5%）、T邸70データ（5.4%）、Y邸55データ（4.2%）である。なお、K邸の床下絶対湿度データは全て8 g/Kg D.A.以下となる。K邸は竣工して間もない（2002年11月）住宅であるが、室外の乾燥空気が床下に供給されるため床下湿度が低く抑えられる。

### 3.2 室内温熱環境

5軒の住宅の室内空気温度（1F居室）の日変動（2002年12月15日～17日）を図9に示す。H邸の室内空気温度は、エアコンの稼動状況の影響を受けて変動しているが、H邸の断熱・気密性能が高いため、エアコンを停止しても室内空気温度の最低値は16.1℃にとどまった。N邸とT邸は同じ床下温風暖房を使用しているが、室内空気温度はT邸のほうが高い。この原因はT邸の補助暖房用ファンヒーターの利用時間が長いことと、温風を床下にのみ供給するN邸に対して、T邸は温風を室内にも供給しているためと思われる。K邸は太陽熱利用空気循環式床下暖房方式を採用しているが、太陽熱の熱量が十分でないことや、床下暖房方式の補助熱源を使わず、さらに補助暖房用ファンヒーターの使用頻度も少ないため、室内空気温度は低く、最高温度は18.5℃にとどまった。Y邸の室温実測データの大部分は18～22℃に維持され、5軒の住宅のうちで最も快適で安定した環境である。

住宅室内温熱環境の総合評価を図10に示す。表の値は図の(1)～(5)に対応する温度および相対湿度範囲に収まる測定データが全体の解析データに占める割合である。快適な温湿度範囲を温度20～22℃、相対湿度40～60%と仮定すると、Y邸のデータは約68%がその範囲に納ま

表5 床下空気の温度(中央、北側と南側の平均)と相対湿度の変動範囲

住宅	H邸	N邸	T邸	K邸	Y邸
空気温度(℃)	最高値 18.9	23.4(23.8)	24.5(27.7)	34.2(41.5)	29.3(29.8)
最低値 17.0	20.7(21.1)	18.2(19.2)	12.5(13.0)	21.1(21.7)	
平均値 17.8	22.0(22.3)	22.2(25.4)	16.1(17.0)	24.2(24.8)	
相対湿度(%)	最高値 76	55	47	68	45
最低値 65	50	27	10	30	
平均値 71	53	34	53	38	

\*注：○内の値は床下暖房を行った4軒の住宅において最も温度が高かった部位の温度であり、N邸：中央、T邸：南側、K邸：中央、Y邸：中央であった。

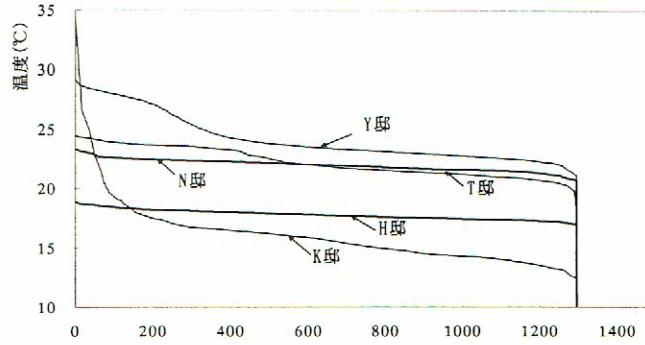


図7 床下温度の累積曲線

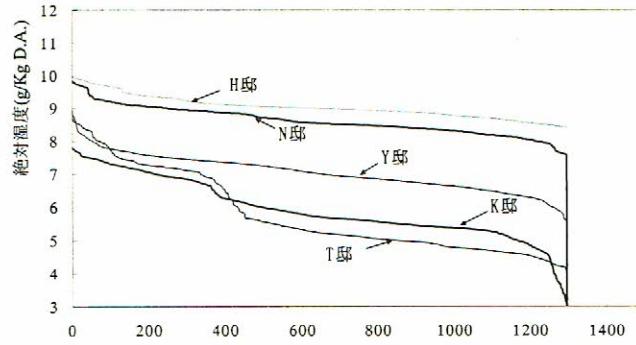


図8 床下の絶対湿度の累積曲線

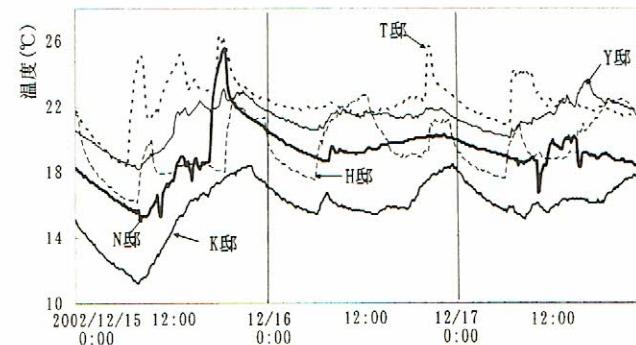


図9 室内温度変動

っている。K邸の場合、最も広い温湿度範囲（温度：16～26℃、相対湿度：20～80%）に入る実測データは17.9%しかなかった。

ほかの3軒の住宅では、温度18～24℃で、相対湿度30～70%の範囲に入るデータの割合はH邸とT邸はそれぞれ70%、80%であり、N邸のデータが同じ範囲に占める割合は約47%である。同じ床下暖房方式のN邸とT邸を比較すると、床吹出し口があるT邸の室内温熱環境のほうが優れている。これはT邸では床吹出し口を介して、床下空間と居室の間に空気流動が生じ、床下の熱が居室へ伝わりやすくなっていると思われる。このように、基礎断熱住宅における床下暖房システムについては、

床下と室内に空間的連続性をもたせることが重要である。

### 3.3 床下と室内・外気の温湿度相関

5軒の住宅における床下と室内および外気温度ならびに絶対湿度の平均値を図11に示す。図から、床下を暖房している4軒の住宅の床下温度は室内温度より高く、全体的に床下温度が高ければ室内温度も高くなる傾向がある。N邸とT邸の床下温度平均値に顕著な差がないのにT邸の室内温度がN邸より高いのは、前述したように床吹出し口の有無と補助暖房の使われ方に差があるためと思われる。床下暖房をしていないH邸でも、床下の温度は外気温度より高く、高断熱・高気密な基礎断熱住宅の特徴が表れている。

絶対湿度については、5軒とも床下絶対湿度が外気絶対湿度を上回る。また、T邸、K邸とY邸では床下絶対湿度は室内より低いが、竣工直後のH邸とN邸では、躯体からの発湿の影響で床下の絶対湿度は室内および外気より高くなる。

このように、基礎断熱住宅は床下を熱的内部空間として取り込むため、床下温度と室内温度との相関が高い。湿気でもそのような傾向が見受けられるが、竣工間もない住宅では構造躯体からの発湿による影響が大きいといえる。

### 3.4 床下空間から地盤への熱損失

床下空間を暖房システムに利用する場合、地盤への熱損失が懸念される。この熱損失量を明らかにするために、防湿コンクリート表面の熱流を測定した。2002年12月9日～2002年12月17日の測定データに基づく日積算の平均熱流を図12に示す。図では床下空間から地中への流出熱流を正とする。H邸では、床下を暖房していないため、コンクリート表面温度は床下空気温度より高くなり、床下空間は地盤から熱をもらっている。中央部の取得熱が外周部より大きく、約900kJ/m<sup>2</sup>・dayである。ほかの4軒の住宅は床下を暖房しているので熱損失が発生しているが、N邸では、床下温風ダクトの吹出し口が床下中央部から離れているため、中央部において地盤から熱がわずかに流入する傾向が伺える。T邸の外周部の熱流センサー（床下南側）は温風ダクトの吹出し口近くに設置されているため、約1000kJ/m<sup>2</sup>・dayという比較的大きな熱損失が発生した。Y邸とK邸において中央部の熱流センサーで実測した熱損失が大きくなつたのは、温水循環パイプ（Y邸）と温風ダクト（K邸）の比較的近くに熱流センサーを設置したためと思われる。床下空間の温度が均一であれば、熱損失は床下中央部より外周部で大きいと考えられるが、床下暖房システムの仕様、放熱部位、床下空間の基礎壁の配置などの影響によって、床下空間に温度むらが発生し、熱流分布に大きな差が生じる可能性がある。床下暖房空間から地盤への熱損失を定量的に把握するためには、詳細な実測やシミュレーションによる解析が必要であり、今後の課題と考える。

## 4. 梅雨季における床下温湿度性状

本節では2003年と2004年の梅雨季の実測データを中心に、床下の温湿度環境および建材による初期発湿の経年変動について検討する、また、床下換気口の有無に着目し、夏季蒸暑時の床下の温湿度性状について報告する。なお、本節の解析では、梅雨季の測定データに欠測が生じたK邸を外している。

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
温湿度範囲	20≤Ta≤22 40≤RH≤60	19≤Ta≤23 35≤RH≤65	18≤Ta≤24 30≤RH≤70	17≤Ta≤25 25≤RH≤75	16≤Ta≤26 20≤RH≤80
H邸	24.1	43.8	69.7	86.1	94.9
N邸	8.4	26.3	46.9	66.1	89.4
T邸	31.2	59.0	81.8	96.1	99.5
K邸	0.0	0.0	2.3	8.7	17.9
Y邸	68.1	92.5	99.1	100.0	100.0

\*注：Ta：居間空気温度（℃）；RH：居間相対湿度（%）

表中の数字は下記温湿度範囲に収まる測定データの全データに占める割合である。

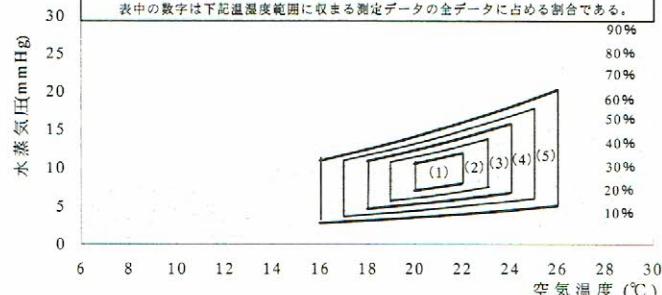


図10 室内温熱環境の総合評価

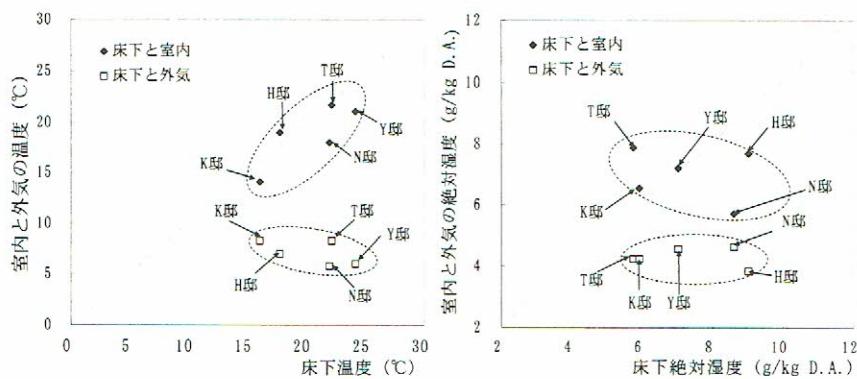


図11 床下と室内・外気との温湿相関

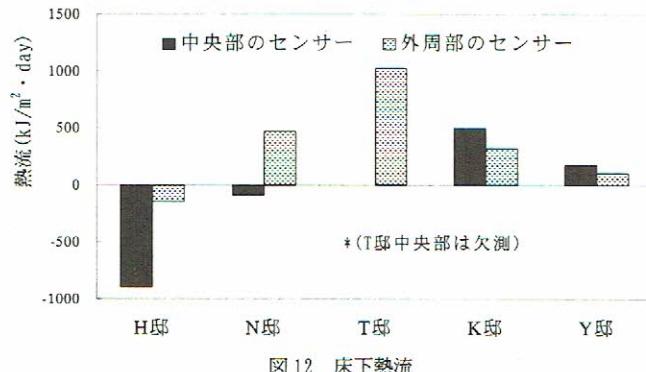


図12 床下熱流

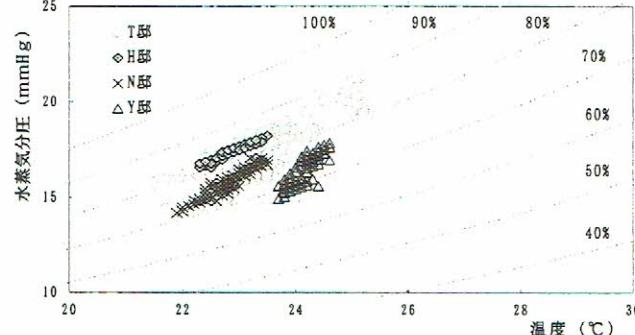


図13 2003年梅雨季床下温湿度性状

### 4.1 空気線図による床下温湿度性状

図13と図14に、2003年及び2004年の梅雨季(6月13日から7月3日)の各住宅における床下データ(30分間隔)を空気線図上に示す。床下

におけるカビや腐朽菌の繁殖防止という観点から低温状態を梅雨季の望ましい床下環境と考えれば、2003年梅雨季においてY邸とN邸はいずれも相対湿度が80%以下であり、良好な環境といえる。また、H邸は、全体的に相対湿度が高いが、室内および外気とは非連続の密閉空間であるため、相対湿度と温度が安定している。T邸は、2003年に床下換気口を開放しているため、温度、相対湿度ともに変動が大きい。2004年になると、各住宅とも床下温度の変動が大きくなっている。そして、H邸の相対湿度は全体的に低下し、Y邸の相対湿度は非常に大きく変動していることがわかる。Y邸において相対湿度が80%を超える時間帯は1時間程度と非常に短く、この湿度上昇の理由は不明であるが、今回の実測では一度しか見られない現象であったため、通常発生する恐れは少ないと思われる。以上のように2003年、2004年を通して、Y邸およびN邸の梅雨季の床下環境は良好といえる。

#### 4.2 竣工初期の床下湿度の経年変動

図15と図16に2003年、2004年の梅雨季(6月13日から7月3日)におけるH邸とN邸の床下相対湿度の累積曲線を示す。なお、H邸とN邸は2軒とも2002年10月に竣工している。2003年の梅雨季にH邸の床下相対湿度は最大で84%に達し、床下相対湿度の全データが80%を上回った。一方、N邸における相対湿度は72~80%に維持される。これはH邸では2003梅雨季においても基礎部分のコンクリートからの発湿が続き、床下相対湿度が高くなっているのに対して、床下温風暖房システムを採用しているN邸は冬季の間にコンクリートの乾燥が進んだものと考えられる。2004年になると、H邸の床下相対湿度の最大値は79%に低下しており、N邸の相対湿度より高い傾向はあるものの、最小値、平均値とともに前年度より低下している。これは、基礎断熱住宅の閉鎖された床下空間における建材からの初期発湿の影響は少なくとも竣工後およそ半年は続くこと、そして、2年目はある程度緩和されることを唆している。

#### 4.3 床下換気口の有無による温湿度の変化

蒸暑時において、床下換気口を持ち年度によってその開閉状態の異なるT邸と、換気口がないY邸の温湿度を比較する。特に住宅によく発生する2種類のカビの繁殖条件に着目して、図17のように2003年の6月1日~8月26日までと2004年の6月1日~8月9日までのT邸とY邸の床下温湿度の日平均値を空気線図に示している。Y邸では、計測した相対湿度の大部分は80%以下でカビの繁殖しにくい範囲にあった。T邸において2003年夏季蒸暑時(換気口:開)に相対湿度が85%以上の割合は52%であり、相対湿度80%以上の割合は73%であった。このように床下換気口を開けた2003年の場合は中温性菌と低温性菌が繁殖する恐れがある。2004年(換気口:閉)には、相対湿度80%以上の割合は50%であったが、相対湿度85%以上の割合は6%しかなかった。以上のように、床下換気口のないY邸で床下相対湿度が80%以下であること、床下換気口を持つT邸では床下換気口を閉じたほうが床下相対湿度は低くなることから、蒸暑時において床下空間は外気と連続性を持たないほうが温湿度環境は優れているといえる。

#### 5. 長期実測結果と床下暖房方式の違い

本節では異なる床下形態と床下暖房方式を持つT邸とY邸を選択し、2002年12月から2004年9月までの長期実測データに基づいて、それぞれ住宅の長期温湿度変動特性について考察する。また、T邸とY邸の床下暖房方式と床下形態の違いに注目し、冬季の暖房効果あるいは室内

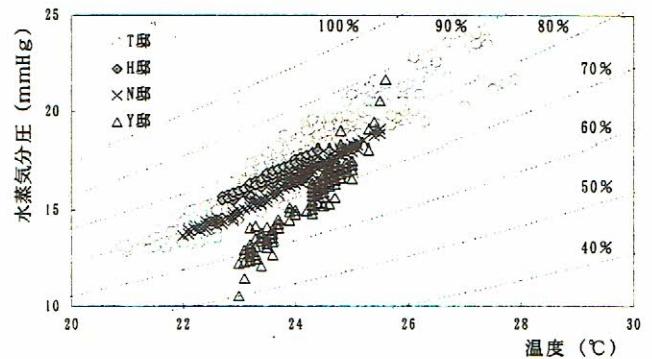


図14 2004年梅雨季床下温湿度性状

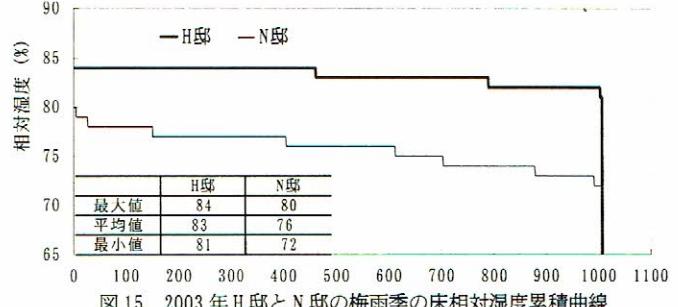


図15 2003年H邸とN邸の梅雨季の床相対湿度累積曲線

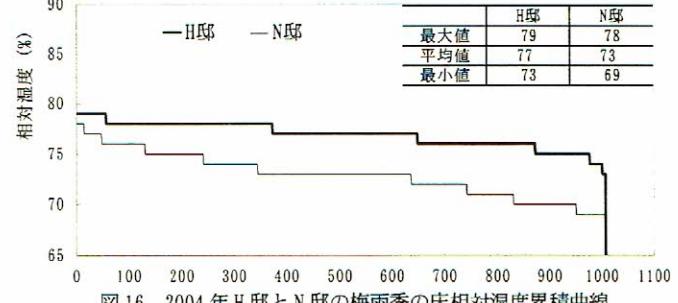


図16 2004年H邸とN邸の梅雨季の床相対湿度累積曲線

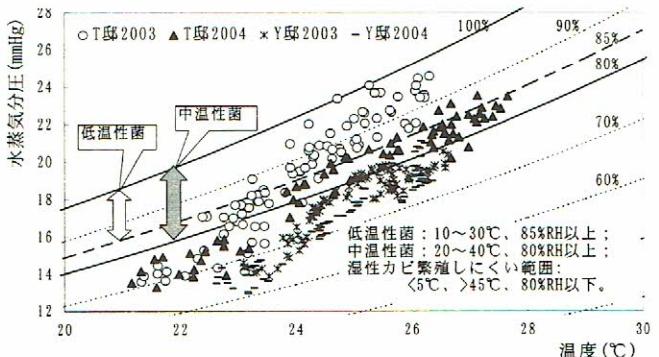


図17 夏季蒸暑い時期における床下の温湿度

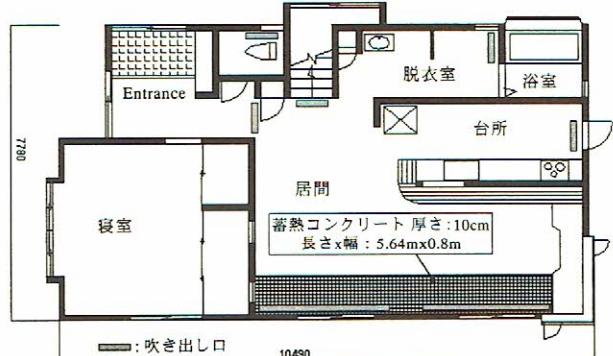


図18 T邸の1階の平面図と計測位置

温熱環境の均一性などについて解説する。図18と図19にはT邸とY邸の一階平面図と計測位置及び床吹出し口の配置を示している。計測項目については表4に説明したが、①は居間の空気温湿度、②は床下中央部の空気温湿度、③は床下北側の空気温度とコンクリート表面温度、④は床下南側の空気温度とコンクリート表面温度、⑤は洗面脱衣室の空気温湿度である。

### 5.1 長期実測結果

図20と図21はT邸とY邸の居間、床下および脱衣室の日平均相対湿度と温度変動を示している。なお、Y邸の実測データには部分的に欠測がある。これらの図から、Y邸の温湿度の変動はT邸より緩やかなことが確認できる。このことはY邸の断熱・気密性が高いことと、24時間換気システムの利用により窓の開閉が少ないためと思われる。また、Y邸では床下と居室の温湿度の差が顕著であるが、T邸ではその差があまり見られない。T邸では、基礎断熱だけではなく、ベースコンクリート上すべての部分に断熱材を敷き詰めているため、床下空間は地盤より居室の影響を大きく受けている。Y邸では基礎外断熱だけで、その床下空間は居室および地盤の双方の影響を受けている。

図20を見ると、2003年冬のT邸の床下温度は居間の室温より低いのに対して、2004年冬には居間の室温より高くなっている。これは暖房機を1台増設し、供給熱量が倍増したためである(表3参照)。なお、2003年の3月末から4月末まで、暖房システムを一系統増やして試運転しており、床下温度の上昇が顕著である)。図21より、Y邸では冬季の床下温度は居間の温度より約4°C程度高いことがわかる。夏には床下温度の応答が室内より遅いので、床下の温度は室内より3~4°C低くなる。

相対湿度の変動については、T邸、Y邸とも床下暖房を行っているため、床下相対湿度は冬に低くなり、居間相対湿度を下回る。しかし、夏になると、床下相対湿度は上昇し、特にT邸では2003年の夏に100%に近い値になった。

### 5.2 冬季における室内と床下の温熱状況

図22と図23にはT邸とY邸の床下および室内の冬季温湿度(日平均)を空気線図上に示している。図22を見ると、T邸では、2003年の床下温度は大部分が23°C以下であったが、2004年では大部分が23~26°Cになり、暖房容量増大の効果が出ている。また、2003年には床下温度は大きく変動していたが、2004年には変動範囲が小さくなっている。Y邸における暖房システムのボイラーの稼働時間は朝と夜に3時間ずつ設定されており、非稼動時間帯の温度は若干低くなっているが、それでもほぼ20°C以上が確保されている。

図23からわかるように、T邸における2003年の室温は2004年の室温より若干低かった。また、T邸の室温が床下温度より高い傾向があるが(特に2003年)、それはT邸では室内の補助暖房として灯油ファンヒーターを使ったためである。Y邸では室内温度は大部分が20°C~22°Cの範囲に収まっており、室温の安定性が確認できた。

### 5.3 室温および床下温度の日変動

図24にはT邸の2日間(2004年2月27日と28日)の温度変動を、図25にはY邸の2日間(2004年2月27日と28日)の温度変動を示す。なお、T邸とY邸に近接している福岡気象台と佐賀気象台の外気温度を併記する。

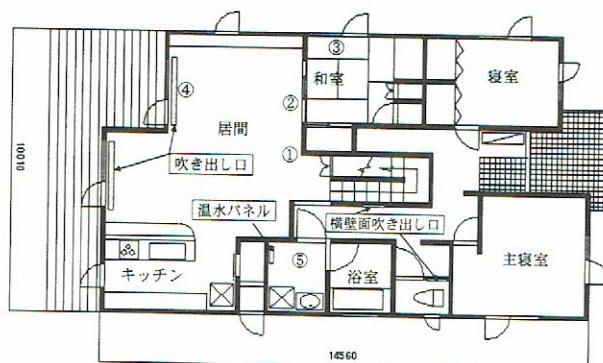


図19 Y邸の1階の平面図と計測位置

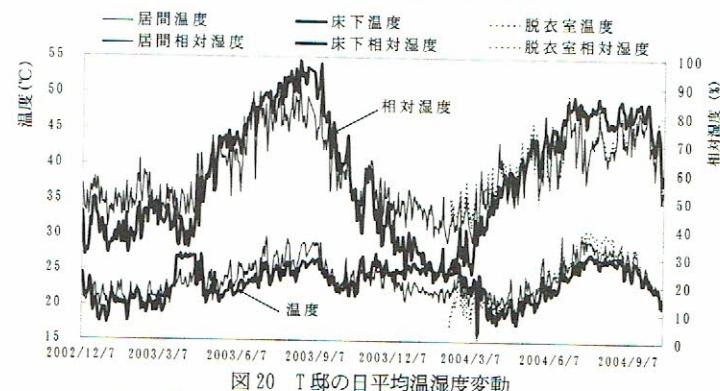


図20 T邸の日平均温湿度変動

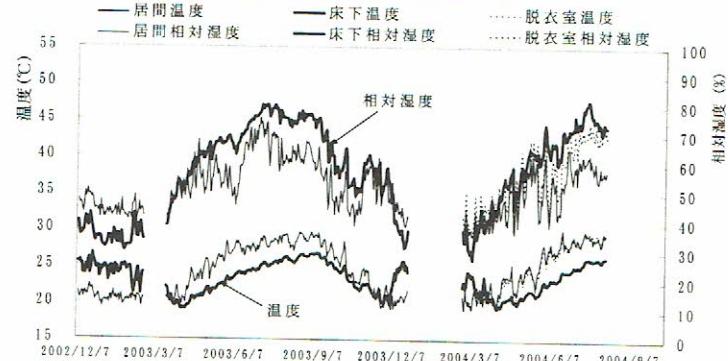


図21 Y邸の日平均温湿度変動

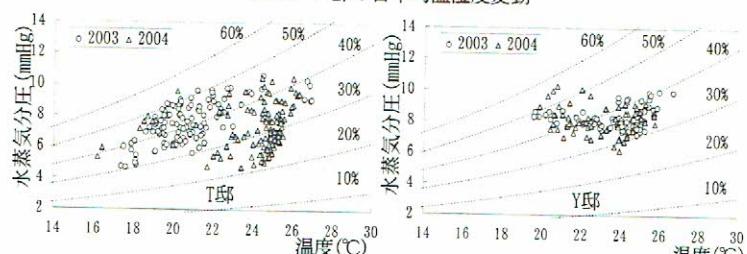


図22 冬季における床下の温湿度(日平均値)

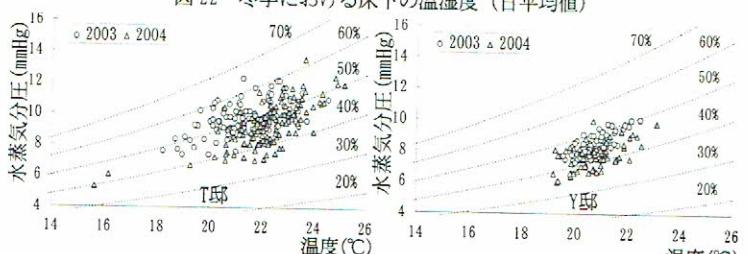


図23 冬季における室内の温湿度(日平均値)

\* 注: 図22と図23のデータ期間

T邸: 2003年 (2002/12/7~2003/3/31); 2004年 (2003/12/1~2004/3/31)

Y邸: 2003年 (2002/12/9~2003/3/31); 2004年 (2003/12/1~2004/3/31)

T邸では床下温風暖房が24時間連続稼動しているため、床下温度は24℃前後に安定していた。居間温度はほぼ20℃を上回ったが、洗面脱衣室温度は居間温度より低く、最低温度は16℃を下回った(以上、図24)。Y邸においては朝と夜2回のボイラー稼動時に床下温度の上昇が顕著である。28日の朝に床下温度が上昇していないのは、床下暖房用運転制御センサー(台所に設置)の温度が設定値を超えたため、ボイラー運転が行われなかつたためである。床下最高温度は約27℃に達し、居間と洗面脱衣室の温度はほぼ18~20℃の範囲で同じように変動している(以上、図25)。

#### 5.4 暖房方式の違いが居室温熱環境に与える影響

図26はT邸とY邸における2004年2月27日、28日のデータに対して、床下と居間の温度差を横軸に、洗面脱衣室と居間の温度差を縦軸にとったものである。5.3で述べたようにT邸とY邸の床下暖房方式が異なるため、横軸(床下と居室の温度差)のデータのばらつきは異なり、Y邸のほうが温度差は大きい傾向がある。洗面脱衣室と居間の温度差を見ると、T邸では洗面脱衣室温度は居間より低く、温度差は最大7℃程度である。このようにT邸では住宅の温度均一性が低いのは、T邸の断熱・気密性が相対的に低いことと、吹出し口からの熱量は十分でないためと考えられる。それに対して、Y邸では洗面脱衣室温度と居間温度との差が小さく、-1℃~2℃であった。Y邸の洗面脱衣室には小型温水パネルが設置されており、さらに、高断熱・高気密という特徴が表われているといえる。

## 6.まとめ

本研究では、九州北部において5軒の基礎断熱住宅を選択し、それらの住宅の床下空間の形態や居室との連続性および暖房システムなどに着目し、室内と床下温熱環境について実測調査およびデータ解析を行つた。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 九州北部において基礎断熱住宅の床下空間を暖房システムに利用することは、良好な室内環境の形成に有効である。この床下暖房システムについては、床下と室内に空間的連続性をもたせることが重要であり、床吹出し口の配置にも配慮する必要がある。なお、基礎断熱した床下暖房空間から地盤への熱損失量は、床下暖房システムの仕様、測定位置などにより異なり、床下熱損失量の定量的な把握は今後の課題である。
- (2) 基礎断熱住宅は床下を熱的内部空間として取り込むため、床下温度と室内温度との相関が高い。湿気でもそのような傾向が見受けられるが、竣工間もない基礎断熱住宅では構造躯体からの発湿による影響が見られる。この初期発湿の影響は少なくとも竣工後およそ半年は続き、2年目はある程度緩和される。また、基礎断熱住宅に床下暖房システムを採用することによって竣工後の床下コンクリートの乾燥が促される。
- (3) 夏季蒸暑時において、閉鎖型の床下空間のほうが換気口を持つ床下空間より、低湿度に維持される。温暖地において床下空間は外気と連続性を持たないほうがその温湿度環境は優れているといえる。

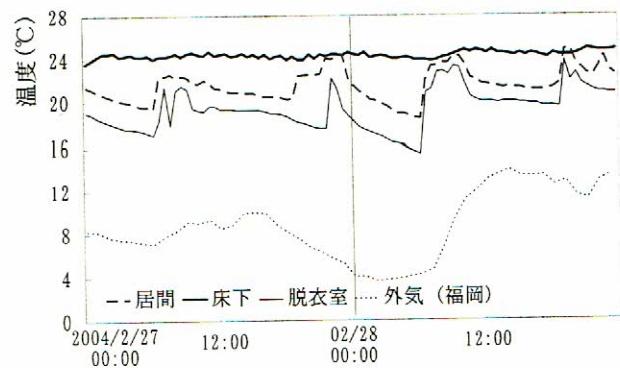


図24 T邸の2日間の温度変動

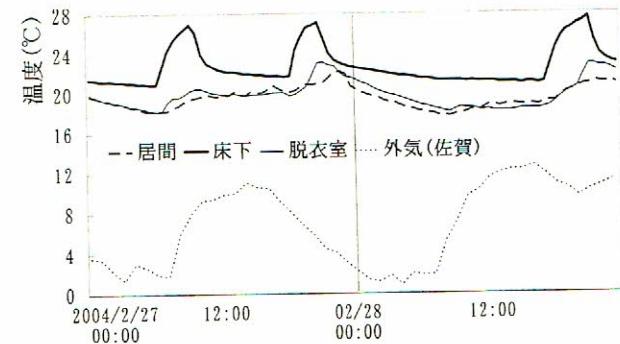


図25 Y邸の2日間の温度変動

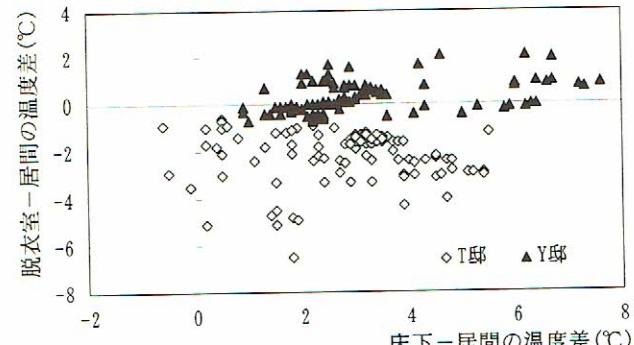


図26 T邸とY邸の温度状況

## 参考文献

- 1) 本間義規、鈴木大隆、坂本雄三、永田明寛、岩前篤：温暖地における冬期の基礎断熱床下空間の温湿度特性－温暖地における基礎断熱工法に関する研究 その1、日本建築学会計画系論文集、No.525、pp.33~38、1999.11
- 2) 本間義規、鈴木大隆、坂本雄三：梅雨時期を含む夏期の基礎断熱床下空間の温湿度環境－温暖地における基礎断熱工法に関する研究 その2、日本建築学会計画系論文集、No.530、pp.25~30、2000.4
- 3) 龍有二：基礎断熱住宅における床下空間の形態と温熱環境、住宅環境・エネルギー研究会機関誌、VOL.14、pp.2~9、2003.9
- 4) 高島正充、龍有二、西田勝：基礎断熱住宅における床下空間の形態と温熱環境 その1 実測対象住宅の概要と梅雨期の温熱環境、日本建築学会研究報告九州支部、第43号・2、pp.389~392、2004.3
- 5) 龍有二、高島正充、西田勝：基礎断熱住宅における床下空間の形態と温熱環境 その2 冬期暖房時の温熱環境と空気質について、日本建築学会研究報告九州支部、第43号・2、pp.393~396、2004.3

(2005年7月10日原稿受理、2006年3月23日採用決定)